

526574
10/526574

(12) NACH DEM VERTRÄG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT VON DER GEHEIT DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

WO 2004/025791 A1 04 MAR 2005

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
25. März 2004 (25.03.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/025791 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01S 3/0941**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002905

(22) Internationales Anmeldedatum:
2. September 2003 (02.09.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

102 41 547.1 5. September 2002 (05.09.2002) DE

102 42 701.1 13. September 2002 (13.09.2002) DE

103 20 221.8 5. Mai 2003 (05.05.2003) DE

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): LAS-CAD GMBH [DE/DE]; Brunhildenstrasse 9, 80639 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): ALTMANN, Konrad [DE/DE]; Brunhildenstrasse 9, 80639 München (DE).

(74) Anwalt: ZIPSE & HABERSACK; Wotanstrasse 64, 80639 München (DE).

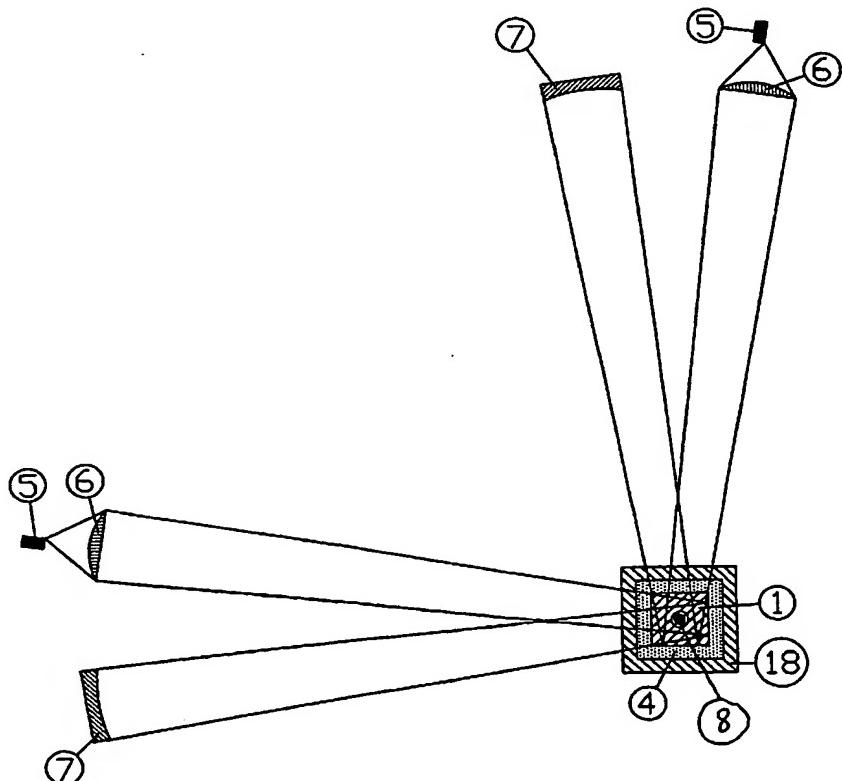
(81) Bestimmungsstaaten (*national*): CN, JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SOLID LASER LATERALLY PUMPED WITH FOCUSED LIGHT FROM DIODES IN MULTIPLE FLOWS

(54) Bezeichnung: SEITLICH MIT FOKUSSIERTEM LICHT VON LASERDIODEN IN VIELFACHDURCHLÄUFEN
GEPUMPTER FESTKÖRPERLASER



(57) Abstract: The invention relates to a solid laser, wherein a laser active material (1) is pumped with the aid of at least one pump light source (5), e.g. of one or several laser diode arrays, at least in an approximately perpendicular manner in relation to the axis of a laser beam extending essentially inside said the laser material (1). The pump beams are reproduced or focussed in said material with the aid of focusing optical elements, e.g. cylindrical lenses (6). At least one boundary surface, which is arranged opposite the incident surface, is provided in the material (1) and is embodied in such a manner that the pump beams are reflected thereon and radiate once more through the laser material and/or such that an external reflector is arranged behind said opposite boundary surface and returns the pump beams into the material. The laser material can be doped in partial areas only.

WO 2004/025791 A1

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Festkörperlaser, bei welchem laseraktives Material (1) mit Hilfe wenigstens einer Pumplichtquelle (5), z. B. eines oder mehrerer Laserdiodenarrays, zumindest in etwa senkrecht zur Achse eines im wesentlichen im Lasermaterial (1) verlaufenden Laserstrahls gepumpt wird, wobei die Pumpstrahlen mit Hilfe von fokussierenden optischen Elementen, z.B. Zylinderlinsen (6) in das Material abgebildet bzw. fokussiert werden. Es ist wenigstens eine der Eintrittsfläche gegenüberliegende Begrenzungsfläche im Material (1) vorgesehen, die derart ausgebildet ist, dass die Pumpstrahlen an dieser reflektiert werden und das Lasermaterial nochmals durchstrahlen und/oder dass sich hinter dieser gegenüberliegenden Begrenzungsfläche ein externer Reflektor befindet, der die Pumpstrahlen in das Material zurücklenkt. Das Lasermaterial kann nur in Teilbereichen dotiert sein.

**SEITLICH MIT FOKUSSIERTEM LICHT VON LASERDIODEN IN VIELFACHDURCHLAUFEN GEPUMPTER
FESTKÖRPERLASER**

Im Gegensatz zu Lasern, bei denen der Kristallstab von der Stirnseite her gepumpt wird, ist es bei seitlich gepumpten Lasern wesentlich schwieriger, eine optimale Überlappung zwischen Pumplicht und Lasermode zu erreichen. Bei herkömmlichen Systemen wird das aus einer oder mehreren Pumplichtquellen, z.B. Diodenarrays kommende Pumplicht entweder direkt von der Seite in einen zylindrischen Kristall eingestrahlt oder mit Linsen in den Achsenbereich des Kristalls fokussiert. Die sog. "slow axis" der Diodenarrays verläuft bei diesen Anordnungen meist parallel zur Kristallachse. Da die Intensität des Pumplichts nach Eintritt in den Kristall infolge der Absorption exponentiell abnimmt und deshalb ein beträchtlicher Teil der Pumpleistung in unmittelbarer Nähe der Eintrittsstelle absorbiert wird, der Lasermode sich jedoch bei den meisten Anordnungen entlang der Kristallachse ausbildet und somit der Abstand zwischen Eintrittsstelle und Lasermode bei den derzeit realisierbaren Kristalldurchmessern mindestens von der Größenordnung 1 mm ist, ist die Überlappung schwach und somit die Effizienz des Lasers gering. Zudem besteht wegen der unsymmetrischen Verteilung der absorbierten Pumpleistung das Problem, dass transversale Moden höherer Ordnung angeregt werden, wodurch sich die Strahlqualität verschlechtert.

Da jedoch seitlich gepumpte Systeme in Hinblick auf die derzeit interessantesten Pumplichtquellen, nämlich Laserdiodenarrays mit lang gestreckten, sehr schmalen emittierenden Flächen, den endgepumpten Lasern im Prinzip überlegen sind, weil eine kostspielige Umformung des Pumpstrahls entfällt, ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, hier eine wesentliche Verbesserung zu schaffen, d.h. einen Laser mit hoher Strahlqualität, der die eingestrahlte Pumpleistung effizient nutzt. Dies ist mit Hilfe einer Anordnung gemäß Anspruch 1 der vorliegenden Erfindung in überraschend einfacher Weise möglich. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Gemäß der Erfindung wird ein aus einer Lichtquelle z.B. einem Laserdiodenarray kommender Pumpstrahl annähernd senkrecht zur Laserstrahlachse, aber vorzugsweise etwas geneigt zum Lot auf die Oberfläche eines Lasermaterial in letzteres eingestrahlt. Um eine effiziente Nutzung der Pumpleistung sicher zu stellen, wird der Pumpstrahl durch optische Elemente wie z.B. Linsen oder Spiegel auf das Lasermaterial fokussiert oder ein Abbild der emittierenden Pumplichtfläche erzeugt, dessen Breite so eingestellt ist, dass eine gute Überlappung zwischen

gepumptem Bereich und Laserstrahl zustande kommt. Da die der Pumplichtquelle abgewandte Seite des Lasermaterials vorzugsweise reflektierend beschichtet ist, wird der Pumplichtstrahl an der der Pumplichtquelle abgewandten Seite des Lasermaterials reflektiert und durchdringt dieses noch einmal, wodurch ein größerer Anteil der Pumpleistung absorbiert wird. Alternativ oder zusätzlich zur Beschichtung des Lasermaterials kann hinter der abgewandten Seite des Lasermaterials auch ein Reflektor, z.B. ein Spiegel, vorgesehen sein, durch den der Pumpstrahl in das Material zurück reflektiert wird. Die Effizienz lässt sich weiter beträchtlich erhöhen, wenn der Pumpstrahl nach dem Austritt aus dem Lasermaterial noch einmal durch einen Reflektor, z.B. einen Spiegel, in das Material zurückgelenkt bzw. abgebildet wird und dann abermals an der Rückwand des Lasermaterials reflektiert wird. Größe und Position dieses zweiten Abbildes werden wiederum vorzugsweise so gewählt, dass eine gute Überlappung mit dem Laserstrahl zustande kommt. Das zweite Abbild liegt deshalb zweckmäßigerverweise unmittelbar neben dem ersten oder fällt mit diesem zusammen. Der Pumplichtstrahl wird auf diese Weise viermal durch denselben gepumpten Bereich des Lasermaterials geführt, was eine sehr effiziente Nutzung der Pumpleistung mit sich bringt. Eine alternative Ausführungsform besteht darin, dass das zweite Abbild des Pumpstahls in gewissem Abstand neben dem ersten liegt, und dass der Pumpstrahl, nachdem er einen zweiten Bereich des Lasermaterials durchstrahlt hat, durch Umlenkspiegel wieder in der ersten Bereich zurückgelenkt wird. In diesem Fall ist es zweckmäßig, dass ein zweiter Pumpstrahl die beiden Bereiche in anderer Reihenfolge durchstrahlt. Bei sehr schwach absorbierenden Materialien kann es zweckmäßig sein, den Pumpstrahl in ähnlicher Weise durch mehr als zwei Bereiche lenken und auch den Laserstrahl mit Hilfe von Umlenkspiegeln durch all diese Bereiche zu leiten.

Wenn im Patent Richtungsangaben wie senkrecht oder parallel mit "in etwa" oder "im wesentlichen" relativiert werden, so bedeutet dies, dass die Hauptrichtung in der bezeichneten Richtung liegt, Abweichungen jedoch von z.B. 20 Grad durchaus möglich sind.

Die Pumplichtquelle ist bevorzugt länglich, d.h. dass eine Ausdehnung deutlich größer als die andere ist, oder besteht aus einer Aneinanderreihung von kleinen Punktlichtquellen entlang einer Vorzugsrichtung. Annähernd parallel zu letzterer erstreckt sich auch der gepumpte Bereich entlang einer Vorzugsrichtung. Der Laserstrahl, der auch gefaltet sein kann, durchstrahlt die gepumpten Bereiche vorzugsweise wiederum entlang dieser Vorzugsrichtung und erstreckt sich somit im wesentlichen zwischen den der Pumplichtquelle zu- und

abgewandten Oberflächen des Lasermaterials und daher auch annähernd parallel zur Pumplichtquelle.

Das Lasermaterial der Erfindung kann beliebige, einem gewünschten Zweck angepasste Geometrien haben, z.B. stab- oder plattenförmig. Im einfachsten Fall ist das Material plattenförmig, es wird jedoch vorgeschlagen zur Erzielung höherer Laserleistungen Stäbe mit quadratischen oder sechseckigen Querschnitten etc. einzusetzen.

Die Kühlung des Lasermaterials kann sowohl mit Hilfe einer strömenden Flüssigkeit als auch mit Hilfe eines Festkörpermaterials hoher Wärmeleitfähigkeit erfolgen. Im Falle eines strömenden Mediums wird vorgeschlagen, dieses über die der Pumplichtquelle zu- und abgewandten Oberflächen des Lasermaterials strömen zu lassen und Temperaturen und/bzw. Querschnitte der Strömungskanäle so zu bemessen, dass eine möglichst symmetrische Temperaturverteilung und somit auch eine möglichst symmetrische thermische Linse im Lasermaterial entsteht, durch welche der Laserstrahl geführt wird.

Durch Verwendung von Polarisationselementen und polarisationsabhängigen Strahlen- teilungselementen kann erreicht werden, dass der Pumplichtstrahl nach dem vierten Durchlaufen des Lasermaterials nicht zurück in Richtung der Pumplichtquelle reflektiert wird, sondern auf einen weiteren Reflektor trifft, durch welchen der Strahl nochmals zurück in das Lasermaterial gelenkt wird. Ermöglicht wird dies, in dem der Strahl auf seinem Wege in seiner Polarisationsrichtung gedreht wird, z.B. durch Lambda-Viertel-Plättchen. Vor der Pumplichtquelle ist dann ein Polarisationsstrahlenteiler vorgesehen, durch den erreicht wird, dass der vom Lasermaterial zurückkommende in der Polarisationsebene gedrehte Pumpstrahl einen anderen Weg als der ursprüngliche nimmt, d.h. nicht mehr zur Pumplichtquelle zurückkehrt, sondern auf einen Reflektor gelenkt wird, durch den er wiederum in den gepumpten Bereich des Lasermaterials gelenkt wird. Hierdurch wird ermöglicht, dass der Pumpstrahl den gepumpten Bereich letztlich achtmal durchstrahlt, wie anhand von Fig. 2 genauer ausgeführt wird.

Anstatt für einen Laser kann die Erfindung auch sehr vorteilhaft für einen Laserverstärker eingesetzt werden. In diesem Fall wird vorgeschlagen, die Seitenflächen des Lasermaterials für mögliche Laserwellenlängen antireflektiv zu beschichten, um zu vermeiden, dass sich parasitäre transversale Moden aufbauen, durch welche dem gepumpten Bereich in schädlicher

Weise Strahlungsleistung entzogen wird. Letzteres kann alternativ auch dadurch verhindert werden, dass gegenüberliegende Oberflächen des Lasermaterials leicht zu einander geneigt sind und/oder Seitenflächen aufgeraut sind.

Technische Elemente des Lasers, wie z.B. Pumplichtquellen, Laserstrahlen und optische Elemente können in Ein- oder Mehrzahl vorhanden sein. Im Falle der Verwendung zweier linearer Pumplichtquellen sind diese hintereinander und/oder um einen Winkel vorzugsweise um 90 Grad versetzt angeordnet.

Der Laserstrahl verläuft im Lasermaterial, kann jedoch an den in Vorzugsrichtung der gepumpten Bereiche liegenden Endflächen aus diesem austreten.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung des Hauptpatents wird vorgeschlagen, ein Lasermaterial zu benutzen, das nur in internen Bereichen dotiert ist. Eine bevorzugte Ausführungsform hierzu ist in der Figur gezeigt. Das Lasermaterial hat hier die Form einer Platte, die aus drei Schichten besteht, von denen nur die mittlere (25) dotiert ist, während die oberen und unteren Schichten (24) undotiert sind. Dadurch wird erreicht, dass der Pumpstrahl nur in der dotierten Schicht absorbiert wird, wodurch eine bessere Überlappung zwischen gepumpten Bereich und Lasermode erzielt wird. Der abklingende Teil des Lasermodes, die sogenannte „evanescent wave“ kann sich in den undotierten Bereichen weitgehend verlustlos ausbreiten.

Die Erfindung wird nachfolgend beispielsweise anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele in Verbindung mit der Zeichnung beschrieben. In dieser zeigen:

Fig. 1 einen Schnitt durch eine erfindungsgemäße Anordnung quer zur Längsausdehnung des Laserstabes 1, der als Platte ausgebildet ist, auf welche von oben ein Laserdiodenarray 5 abgebildet wird,

Fig. 2 einen Schnitt durch eine erfindungsgemäße Anordnung quer zur Längsausdehnung des Laserstabes, der als Platte ausgebildet ist, auf welche von oben ein Laserdiodenarray 5 abgebildet wird, wobei mit Hilfe eines Lambda-Viertel-Plättchens 11 und eines Polarisationsstrahlteilers der einfallende und der

rückreflektierte Pumpstrahl so getrennt werden, dass der Pumpstrahl mit Hilfe von Spiegeln achtmal durch die Patte gelenkt wird,

- Fig. 3 einen Schnitt durch eine erfindungsgemäße Anordnung quer zur Längsausdehnung des Laserstabes 1, der als Platte ausgebildet ist, auf welche von oben zwei Laserdioden 5 abgebildet werden,
- Fig. 4 eine zu Fig. 3 alternative Anordnung, bei welcher Laserdioden 5 und Fokussierungslinsen 13 einerseits und Reflexionsspiegel 7 andererseits alternierend bzgl. des Lotes auf die Laserplatte 1 angeordnet sind,
- Fig. 5 einen Schnitt durch eine erfindungsgemäße Anordnung quer zur Längsausdehnung des Laserstabes 1, der als Platte ausgebildet ist, bei welcher unterschiedlich zu Fig. 1 die Flüssigkeitskühlung durch Wärmesenken aus Festkörpermaterial ersetzt ist,
- Fig. 6 einen Schnitt durch eine erfindungsgemäße Anordnung, bei welcher die Laserplatte zusätzlich von links mit Hilfe einer Laserdiode 5 gepumpt wird,
- Fig. 7 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Laserresonator mit einem Laserstab 1, der von oben mit einer Pumpdiode 5 gepumpt wird,
- Fig. 8 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Laserresonator mit einem Laserstab 1, der von oben mit zwei Pumpdioden 5 gepumpt wird, die in Richtung der "slow axis" hintereinander angeordnet sind, und
- Fig. 9 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Laserresonator, bei dem die Laserstäbe 1 zickzackförmig angeordnet sind.
- Fig. 10 einen Schnitt durch eine erfindungsgemäßen Anordnung, bei dem der Pumpstrahl, nachdem er die Laserplatte nach oben verlassen hat, in einen zweiten Bereich der Platte, der nicht mit dem ersten zusammenfällt, abgebildet wird, aus diesem zurückreflektiert wird, und durch Spiegel wieder in den ersten gelenkt wird.

Fig. 11 einen Schnitt durch eine erfindungsgemäßen Laserresonator quer zu den Pumpstrahlen, bei welchem der Laserstrahl durch Umlenkspiegel durch die beiden in Fig. 10 dargestellten gepumpten Bereiche gelenkt wird.

In den Figuren sind identische oder funktionsgleiche Teile mit den identischen Bezugszeichen versehen

Bei der Ausführung nach Fig. 1 ist unterschiedlich zu herkömmlichen Anordnungen eine dünne Platte 1 aus laseraktivem Material zwischen zwei Platten 2 und 3 aus Glas oder einem anderen Material, das für die Pumpstrahlung transparent ist, angeordnet. Die Zwischenräume zwischen Laserplatte und Glasplatten werden von einem flüssigen Kühlmedium 4, das ebenfalls für die Pumpstrahlung transparent ist, durchströmt. Die Unterseite der Laserplatte 1 ist für die Pumpstrahlung hochreflektierend, während die Oberseite antireflektierend beschichtet ist. Der aus einem Diodenarray 5 kommende Pumpstrahl wird mit Hilfe einer Zylinderlinse 6, deren Wölbung in Richtung der sog. "fast axis" des Diodenarrays verläuft, durch die obere Glasplatte und das Kühlmedium hindurch auf die Unterseite der Laserplatte in einen relativ schmalen Streifen abgebildet, dessen Breite in Abhängigkeit von anderen Parametern unten noch genauer spezifiziert wird. Der Einfallswinkel, den die Achse des Pumpstrahls mit der Normalen auf die Platte bildet, ist vorzugsweise etwa von der Größenordnung des halben Öffnungswinkels des Strahls, kann jedoch auch größer oder kleiner sein. Der an der Unterseite der Laserplatte reflektierte sich wieder öffnende Strahl trifft auf einen zylindrisch gewölbten Hohlspiegel 7, durch den er wieder auf die Unterseite der Platte abgebildet wird, wobei der Krümmungsradius des Spiegels so gewählt ist, dass das zweite Abbild des Strahls etwa von der Größenordnung des ersten ist und sich mit diesem überlappt. Der Strahl wird dann nochmals an der Unterseite der Laserplatte in Richtung der Zylinderlinse 5 reflektiert. Da der Pumpstrahl auf diese Weise die Laserplatte viermal durchquert, ist gewährleistet, dass ein erheblicher Anteil der Pumpstrahlung in der Platte absorbiert wird, wodurch in dem von dem Pumpstrahl durchstrahlten Bereich der Laserplatte eine Besetzungsinversion aufbaut wird. Der Laserstrahl 8 verläuft annähernd durch die Mitte des gepumpten Bereichs senkrecht zur Bildebene.

Um die Effizienz der im vorangehenden Abschnitt angegebenen Pumpanordnung noch zu steigern, wird vorgeschlagen, die Strahlung der Laserdiode zu polarisieren. Im Folgenden wird

an Hand von Fig. 2 eine entsprechende erfindungsgemäße Anordnung beschrieben.

Abweichend von Fig. 1 ist bei dieser Ausführung zwischen Linse 6 und Laserplatte 1 ein beliebiger an sich bekannter Polarisationsstrahlenteiler 9 eingefügt. Für solche Strahlenteiler gibt es unterschiedliche Ausführungsformen. Für die in Fig. 2 angegebene Anordnung wurde z.B. ein Foster-Prisma ausgewählt. Es besteht aus zwei prismatisch geschliffenen Körpern aus einem stark doppelbrechenden Material z. B. Kalkspat, dessen optische Achse senkrecht zur Bildebene verläuft, weshalb die Brechungsindizes für Strahlen, die in bzw. senkrecht zur Bildebene polarisiert sind, unterschiedliche Werte besitzen. Die beiden Körper sind entlang einer Grenzfläche 10 miteinander verbunden, wobei je nach Ausführungsform entweder ein schmaler Luftspalt zwischen den Körpern bestehen bleibt oder dieser Spalt mit einem Kitt ausgefüllt ist, dessen Brechungsindex deutlich kleiner als der Brechungsindex des doppelbrechenden Materials ist. Der aus der Laserdiode 5 kommende, senkrecht zur Bildebene polarisierte Strahl (● ● ●), der wiederum mit Hilfe einer Zylinderlinse konvergent gemacht wird, tritt schräg von rechts oben in das Foster-Prisma 9 ein. Der Auftreffwinkel des Strahls auf die Grenzfläche 10 ist so gewählt, dass dieser größer als der Grenzwinkel der Totalreflexion ist. Der Pumpstrahl wird daher an der Grenzfläche 10 totalreflektiert und verlässt dann das Foster-Prisma in Richtung der Laserplatte. Die Brechkraft der Linse 6 ist so gewählt, dass der Pumpstrahl wie in Fig. 1 auf einen schmalen Streifen auf der Unterseite der Laserplatte abgebildet wird. Er wird dort reflektiert und durchstrahlt nun auf seinem Weg zum Spiegel 7 unterschiedlich zu Fig. 1 ein Lambda-Viertel-Plättchen 11, welches das linear polarisierte Licht in zirkularpolarisiertes verwandelt. Bei der Reflexion am Spiegel 7 bleibt zwar der Drehsinn der Polarisation bezüglich der Ausbreitungsrichtung erhalten, da sich jedoch letztere umkehrt, ändert sich auch der tatsächliche Drehsinn der Polarisation. Der auf das Lambda-Viertel-Plättchen von oben auftreffende Strahl wird daher zwar nun wieder in linear polarisiertes Licht zurückverwandelt, dessen Polarisationsrichtung im Vergleich zur ursprünglichen jedoch um 90° gedreht ist. Die Polarisationsrichtung des Pumpstrahls liegt daher, wenn dieser auf dem Weg zur Laserplatte das Lambda-Viertel-Plättchen ein zweites Mal passiert hat, in der Bildebene (↑↑↑). Dieser Strahl wird nun wieder von der Unterseite der Laserplatte in das Foster-Prisma gelenkt, wird aber nun, da der Brechungsindex des doppelbrechenden Materials für Licht, das in der Bildebene polarisiert ist, kleiner ist, nicht mehr an der Grenzfläche 10 totalreflektiert, sondern durchdringt letztere ohne Richtungsänderung und mit nur geringen Intensitätsverlusten. Der Strahl verlässt das Foster-Prisma nun an der Oberseite, wird durch den Zylinderspiegel 12 in das Foster-Prisma zurückreflektiert, auf die Unterseite der Laserplatte abgebildet, zum Spiegel 7 umgelenkt und

von dort wiederum zur Laserplatte zurückreflektiert. Der Pumpstrahl durchstrahlt daher nach seiner Reflexion an Spiegel 12 die Laserplatte noch viermal und passiert daher die Laserplatte auf seinem gesamten Weg von Laserdiode her insgesamt achtmal. Es wird daher bei dieser Ausführungsform im Unterschied zur Ausführung nach Fig. 1 ein deutlich größerer Anteil der Pumpstrahlung in der Laserplatte absorbiert, z.B. bei Nd-YAG bei Verwendung derzeit kommerziell erhältlicher Laserdioden und einer Plattendicke von 0.5 mm etwa 80%. Wie bereits oben erwähnt, sind eine Reihe von Ausführungsformen für Polarisationsstrahlenteiler bekannt, welche für die Zwecke dieser Anordnung mehr oder weniger gut geeignet sind. Grundidee dieser vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist es somit, dass basierend auf dem hier dargelegten Prinzip mit Hilfe einer Drehung der Polarisationsebene und von Polarisationsstrahlenteilern zusätzliche Durchgänge des Pumpstrahls durch die Laserplatte realisiert werden.

Eine weitere Steigerung der absorbierten Pumpleistung wird erreicht, wenn das Licht mehrerer Laserdioden in die Laserplatte abgebildet wird. Dies wird anhand von Fig. 3 für zwei Laserdioden gezeigt, es können jedoch basierend auf dem in Fig. 3 offenbarten Prinzip durchaus mehrere Dioden 5 in die Laserplatte abgebildet werden. Da der Öffnungswinkel des die Linse 6 verlassenden Strahls relativ klein wird, wenn man den Abstand zwischen Linse und Laserplatte entsprechend groß wählt, können, wie in Fig. 3 dargestellt, zwei oder mehrere Linsen nebeneinander angeordnet werden, durch welche die Strahlen der Dioden auf die Laserplatte abgebildet werden. Um die Öffnungswinkel der Strahlen und somit auch die Einfallswinkel der äußeren Strahlen noch mehr zu verkleinern, wird vorgeschlagen anstatt einfacher Zylinderlinsen Linsensysteme 13 zu benutzen, mit den Zweck die sphärischen Aberrationen zu reduzieren. Da solche Linsensysteme Stand der Technik sind, wurden sie in Fig. 3 nur schematisch dargestellt. Um den Einfallswinkel der Strahlen auf die Laserplatte – gemeint ist der Winkel, den die Strahlen mit dem Lot auf die Platte 1 bilden – weiter zu verkleinern, wird vorgeschlagen, zusätzlich eine zylindrische Zerstreuungslinse 14 vor der oberen Glasplatte 2 in den Strahlengang einzubringen. Unterschiedlich zur Einstrahlung mit nur einer Diode bietet die Einstrahlung mit mehreren Dioden die Möglichkeit, das auf der Laserplatte ankommende gesamte Strahlprofil durch gezielte Überlagerung der Profile der einzelnen Strahlen zu steuern. Um dies zu erreichen wird vorgeschlagen, die einzelnen Strahlen nicht exakt aufeinander abzubilden, sondern deren Strahlprofile nach rechts oder links etwas gegeneinander zu verschieben, um auf diese Weise ein mehr kastenförmiges Gesamtprofil zu realisieren, mit dem Zweck, die resultierende Temperaturverteilung besser an

eine Parabelform anzunähern. Um auch bei der Anordnung nach Fig. 3 einen achtfachen Durchgang der einzelnen Pumpstrahlen durch die Laserplatte zu realisieren, wird vorgeschlagen, auch hier die Polarisationsebenen der einzelnen Pumpstrahlen mit Hilfe von z.B. Lambda-Viertel-Plättchen zu drehen, die Strahlengänge mit Hilfe von Polarisationsstrahlteilern zu separieren und die gedrehten Strahlen analog zur Ausführung nach Fig. 2 mit Hilfe zusätzlicher Spiegel 12 auf die Laserplatte zurückzoreflektieren. Diese alternative Ausführungsform wurde jedoch nicht graphisch dargestellt.

Um die räumliche Anordnung der Elemente zu erleichtern und um das transversale Gesamtprofil des Pumpstrahls symmetrischer zu machen, wird vorgeschlagen Laserdioden 5 und Fokussierungslinsen 13 einerseits und Reflexionsspiegel 7 andererseits alternierend bzgl. des Lotes auf die Laserplatte 1 anzuordnen, wie das anhand von Fig. 4 gezeigt wird.

Fig. 5 zeigt eine erfindungsgemäße Anordnung, bei welcher unterschiedlich zu Fig. 1 die Flüssigkeitskühlung durch Wärmesenken aus einem Festkörpermaterial hoher Wärmeleitfähigkeit ersetzt ist, welche in Form der vier Platten 17 die Laserplatte von oben und unten kühlen. Der Spalt zwischen den beiden oberen Platten ermöglicht den Eintritt des Pumpstrahls in die Laserplatte. Um zu gewährleisten, dass die resultierende Temperaturverteilung symmetrisch ist, können optional auch die beiden unteren Platten durch einen Spalt getrennt sein.

Um die gesamte absorbierte Pumpleistung noch weiter zu steigern, wie dies z. B. für Anwendungen in der Materialbearbeitung wünschenswert ist, wird vorgeschlagen, den Laserstab nicht nur von oben sondern auch von der linken oder der rechten Seite bzw. von unten, d.h. letztlich von mehreren Seiten zu pumpen. Eine entsprechende Anordnung ist in Fig. 6 dargestellt. Hier wird eine weitere Laserdiode 5 mit Hilfe einer Linse 6 von links in den Laserstab 1 abgebildet, dessen Querschnitt nahezu quadratisch ist, an der rechten Begrenzungsfläche reflektiert und wie für die Einstrahlung von oben bereits beschrieben durch einen Zylinderspiegel 7 in den Laserstab zurückreflektiert. Der Laserstab 1 ist an den Seiten von einem Behälter, Gehäuse bzw. Kasten 18 umgeben, der für die Pumpstrahlung transparent ist. In den Zwischenräumen zwischen Laserstab und Kasten befindet sich ein strömendes Kühlmedium 4. Der Laserstrahl 8 bildet sich innerhalb des Stabes entlang der Längsrichtung aus. Zur weiteren Steigerung der Leistung wird auch hier vorgeschlagen, Polarisationsstrahlenteiler und Lambda-Viertel-Plättchen in den Strahlengang einzufügen.

und/oder mit mehreren Dioden einzustrahlen wie dies anhand der Figuren 2 bis 4 für die Einstrahlung von oben bereits beschrieben wurde. Zur weiteren Steigerung der Laserleistung wird vorgeschlagen, einen Laserstab mit einem sechs- oder achtseitigen Querschnitt zu benutzen und von entsprechend vielen Seiten einzustrahlen.

Die Auslegung des optischen Resonators hängt von den Eigenschaften des verwendeten Lasermaterials ab. Bei Materialien mit positiver Ableitung dn/dT des Brechungsindex n nach der Temperatur T wie Nd:YAG bildet sich entlang des gepumpten Bereichs, also in den Figuren 1 bis 6 senkrecht zur Bildebene, eine annähernd symmetrische thermische Linse aus, in welcher der Lasermode wie in einem Wellenleiter geführt wird. In diesem Fall genügt es die senkrecht zu dem gepumpten Bereich verlaufenden Endflächen der Platte eben zu schleifen, zu verspiegeln und als Endflächen für einen Laserresonator zu benutzen. Abhängig von der Größe des Differentialquotienten dn/dT und der absorbierten Pumpleistung kann die thermische Linsenwirkung so stark sein, dass das transversale Profil des Laserstrahls zu schmal wird, um den gepumpten Bereich ausreichend zu überlappen, wodurch die Effizienz des Lasers reduziert wird. Um dies zu vermeiden, wird vorgeschlagen die ebenen Endflächen der Laserplatte für die Laserstrahlung antireflektierend zu beschichten und separate Endspiegel 15 für den Laserresonator zu benutzen, wie dies in Fig. 7 dargestellt ist. Um die Konstruktion möglichst einfach zu gestalten, sind diese externen Spiegel bevorzugt eben, gegebenenfalls können jedoch gekrümmte Spiegel vorteilhaft sein. Wird ein Lasermaterial benutzt, bei dem die Ableitung des Brechungsindex nach der Temperatur verschwindet oder negativ ist, sind gekrümmte Endspiegel des Laserresonators sogar notwendig. Zur Steuerung der Überlappung von gepumptem Bereich und Lasermode wird weiterhin alternativ vorgeschlagen die Breite des gepumpten Bereichs durch Änderung der Brennweiten der Linsen 6 und der Spiegel 7 zu optimieren.

Fig. 8 zeigt eine erfindungsgemäße Anordnung, bei der zwei lineare Pumpquellen, z.B. Laserdiodenarrays 5 in Richtung der "slow axis" hintereinander angeordnet sind. Auf dieselbe Weise können natürlich auch mehrere Dioden angeordnet werden.

Fig. 9 zeigt eine erfindungsgemäße Anordnung nach Art eines gefalteten Resonators, bei der mehrere Laserplatten zickzackförmig zwischen Spiegeln 16 angeordnet sind. Die nicht gezeichneten Laserdioden, deren Strahlen analog zu Fig. 1 bzw. 2 oder 3 in die Laserplatten abgebildet werden, befinden sich vor der Bildebene senkrecht über den Platten. Alternativ

wird vorgeschlagen, die einzelnen Platten durch eine einzige durchgehende Platte zu ersetzen, wobei jedoch die Laserdioden weiterhin zickzackförmig angeordnet bleiben.

Um den technischen Aufwand zur Realisierung der in den vorangehenden Abschnitten beschriebenen Anordnungen bei gleicher Effizienz zu reduzieren wird anhand von Fig. 10 eine Anordnung beschriebenen, bei welcher ein achtfacher Durchgang des Pumpstrahls durch eine Laserplatte 1 ohne Zuhilfenahme von Polarisationsstrahlenteilern realisiert wird. Zu diesem Zweck wird der von der Pumpquelle 5 emittierte und durch die Linse 6 auf das Lasermaterial 1 abgebildete Pumpstrahl, nachdem er die Laserplatte 1 nach oben verlassen hat, durch einen Umlenkspiegel 19 auf einen Bereich abgebildet, der links neben dem ersten durchstrahlten Bereich liegt. Dort wird der Pumpstrahl wieder an der Unterseite der Platte reflektiert, zu einem Spiegel 20 gelenkt, durch den er wieder in den zweiten Bereich zurückreflektiert wird, und sodann durch Reflektion an dem Umlenkspiegel 19 wieder in den ersten Bereich gelenkt wird. Gleichzeitig wird ein zweiter Pumpstrahl aus der Laserdiode 21 durch eine Linse 6 in den linken Bereich abgebildet, an der Unterseite der Laserplatte reflektiert und, nachdem er die Laserplatte verlassen hat, auf einen Spiegel 22 gelenkt, durch den er senkrecht von oben in den rechten gepumpten Bereich abgebildet wird. Er wird daher, nachdem er an der Unterseite der Platte reflektiert wurde, wieder zu dem Spiegel 22 gelenkt und von diesem wieder in den linken gepumpten Bereich abgebildet. Beide Pumpstrahlen durchstrahlen also die beiden gepumpten Bereiche jeweils achtmal. Wie man leicht erkennt, ist es nicht notwendig dass der zweite Pumpstrahl senkrecht auf den rechten Bereich abgebildet wird. Ist dies nicht der Fall, so wird ein weiterer Umlenkspiegel benötigt. Außerdem ist es möglich, die Pumpstrahlen mit Hilfe von Umlenkspiegeln durch drei oder mehr nebeneinander liegende Bereiche zu lenken, sofern dies zur Absorption der Pumpstrahlen technisch sinnvoll ist. Fig. 11 zeigt einen erfindungsgemäßen Resonator, bei welchem der Laserstrahl mit Hilfe von Umlenkspiegeln 23 durch zwei gepumpte Bereiche gelenkt wird.

Weiter wird vorgeschlagen, die anhand der Figuren 1 bis 11 beschriebenen Anordnungen zum Pumpen und Kühlen von Laserstäben für Laserverstärker zu benutzen, indem ein externer Laserstrahl von der Stirnseite her entlang der gepumpten Bereiche in den Laserstab eingekoppelt wird. Um bei dieser Benutzung der Erfindung parasitäre transversale Lasermoden in den Stäben zu vermeiden, wird vorgeschlagen, die Seitenflächen der Laserplatten bzw. -stäbe für in Frage kommende Laserwellenlängen antireflektierend zu beschichten oder nicht exakt parallel zueinander zu schleifen. Falls die Pumpstrahlen nur von

oben kommen, wird vorgeschlagen, die rechte und die linke Seitenfläche des Stabs aufzurauen.

Patentansprüche:

1. Festkörperlaser, bei welchem laseraktives Material (1) mit Hilfe wenigstens einer Pumplichtquelle (5), z. B. eines oder mehrerer Laserdiodenarrays, zumindest in etwa senkrecht zur Achse eines im wesentlichen im Lasermaterial (1) verlaufenden Laserstrahls gepumpt wird, wobei die Pumpstrahlen mit Hilfe von fokussierenden optischen Elementen, z.B. Zylinderlinsen (6) in das Material abgebildet bzw. fokussiert werden, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine der Eintrittsfläche gegenüberliegende Begrenzungsfläche im Material (1) vorgesehen ist, die derart ausgebildet ist, dass die Pumpstrahlen an dieser reflektiert werden und das Lasermaterial nochmals durchstrahlen und/oder dass sich hinter dieser gegenüberliegenden Begrenzungsfläche ein externer Reflektor befindet, der die Pumpstrahlen in das Material zurücklenkt.
2. Festkörperlaser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Reflektoren (7), z.B. Zylinderspiegel vorgesehen sind, die den Pumpstrahl, nachdem er das Material ein zweites Mal durchstrahlt und verlassen hat, ein weiteres Mal in das Material zurücklenken.
3. Festkörperlaser nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die mit Hilfe der optischen Elemente (6) und die mit Hilfe der Reflektoren (7) im Lasermaterial (1) erzeugten Abbilder der Pumpstrahlen sich teilweise oder ganz überlappen.
4. Festkörperlaser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflektivität der der Eintrittsfläche gegenüberliegenden Begrenzungsfläche des Materials (1) mit Hilfe einer entsprechenden Beschichtung und/oder durch geeignete Wahl des Auftreffwinkels erhöht wird.
5. Festkörperlaser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die emittierenden Flächen der Pumplichtquellen in einer Richtung deutlich länger sind als in der anderen, oder dass eine Reihe von kleinen emittierenden Flächen entlang einer Vorzugsrichtung angeordnet sind.
6. Festkörperlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fläche, durch welche die Pumpstrahlen in das laseraktive Material (1) eintreten, und/oder die gegenüberliegende Begrenzungsfläche plan sind.

7. Festkörperlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Laserstrahl (8) zumindest annähernd parallel zwischen den seitlichen Begrenzungsflächen des Materials (1) ausbildet.
8. Festkörperlaser nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass sich zwischen dem Lasermaterial (1) und den Spiegeln (7) optische Elemente (11), z.B. Lambda-Viertel-Plättchen befinden, welche von den Pumpstrahlen auf dem Weg zu den Spiegeln (7) und zurück durchstrahlt werden, und dass mit Hilfe dieser Elemente die Polarisationsrichtung der Strahlen auf diesem Weg, vorzugsweise insgesamt um 90°, gedreht wird.
9. Festkörperlaser nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass sich auf dem Weg der Pumpstrahlen zwischen den Pumplichtquellen (5) und den Lambda-Viertel-Plättchen (11) optische Elemente (9) z. B. Polarisationsstrahlenteiler befinden, mit deren Hilfe die Strahlengänge der von den Pumplichtquellen kommenden Strahlen einerseits und die Strahlen, deren Polarisationsebene durch die optischen Elemente (11) um 90° gedreht wurde, andererseits räumlich getrennt werden, und dass letztere mit Hilfe von Reflektoren (12) z.B. Zylinderspiegeln wiederum in das Lasermaterial (1) abgebildet werden.
10. Festkörperlaser nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Polarisationsstrahlenteiler als Foster-Prismen ausgebildet sind.
11. Festkörperlaser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Zylinderlinsen (6), welche die Pumplichtquellen in das Lasermaterial abbilden, als Linsensysteme (13) zur Reduktion der sphärischen Aberration ausgebildet sind.
12. Festkörperlaser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich in geringem Abstand vor dem Lasermaterial (1) eine zylindrische Zerstreuungslinse (14) befindet, mit dem Zweck, die Auftreffwinkel der Pumpstrahlen auf die Platte zu verkleinern.
13. Festkörperlaser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Pumplichtquellen senkrecht zu ihrer Längsausdehnung in seitlicher Richtung nebeneinander angeordnet sind und deren Strahlen auf das Lasermaterial (1) unter unterschiedlichen Winkeln auftreffen.

14. Festkörperlaser nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Abbilder der Pumplichtquellen in dem Lasermaterial nicht exakt überlagern, sondern senkrecht zu ihrer Längsausdehnung seitlich leicht verschoben sind, mit dem Zweck dass das aus der Überlagerung der Pumpstrahlen sich ergebende transversale Pumpprofil einem Kastenprofil ähnlich wird.

15. Festkörperlaser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Pumplichtquellen parallel zu ihrer Längsausdehnung einzeln oder in Gruppen hintereinander angeordnet sind, mit dem Zweck einen streifenförmigen Bereich zu pumpen, dessen Länge ein Vielfaches der Länge der einzelnen Pumplichtquellen beträgt, wobei sich dieser Bereich auch aus Teilstücken zusammensetzen kann.

16. Festkörperlaser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Oberfläche, vorzugsweise gegenüberliegende Oberflächen des Lasermaterials (1) mit Hilfe eines flüssigen Mediums gekühlt wird.

17. Festkörperlaser nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Kühlmedium an gegenüberliegenden Seiten des Lasermaterials unterschiedliche Temperaturen aufweist, z. B. indem das Medium, welches zum Kühlen einer der beiden Seiten dient, beheizt wird, mit dem Zweck Asymmetrien der Temperaturverteilung in der Lasermaterial (1) auszugleichen.

18. Festkörperlaser nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Querschnitte der Strömungskanäle beidseitig des Lasermaterials (1) unterschiedlich bemessen sind, um die Laserplatte an Ober- und Unterseite verschieden stark zu kühlen.

19. Festkörperlaser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Lasermaterial (1) mit Hilfe von Wärmesenken bestehend aus einem Festkörpermaterial hoher Wärmeleitfähigkeit gekühlt wird, die einen Spalt freilassen, durch den der Pumpstrahl in das Lasermaterial eindringen kann.

20. Festkörperlaser nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass auf unterschiedliche Temperaturen gekühlte Wärmesenken vorgesehen sind, mit dem Zweck Asymmetrien der Temperaturverteilung in dem Lasermaterial (1) auszugleichen.

21. Festkörperlaser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Lasermaterial (1) von mehreren Seiten gepumpt wird, indem das Licht von Pumplichtquellen (5) mit Hilfe von optischen Elementen z.B. Zylinderlinsen (6) von einer oder mehreren Seiten in ein stabförmiges Lasermaterial (1) abgebildet wird und, nachdem es an der gegenüberliegenden Begrenzungsfläche reflektiert wurde, letzteres nochmals durchstrahlt.
22. Festkörperlaser nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil oder alle in den vorhergehenden Ansprüchen definierten technischen Elemente, um die Pumpstrahlen abzubilden, umzulenken, zu reflektieren oder zu polarisieren auch auf die von der/den anderen Seite(n) kommenden Strahlen angewandt werden.
23. Festkörperlaser nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass das Lasermaterial (1) an den Seiten von einem Kasten (18) umgeben ist, der für die Pumpstrahlung transparent ist, und dass in den Zwischenräumen zwischen Lasermaterial und Kasten ein Kühlmedium (4) strömt.
24. Festkörperlaser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Stirnflächen des Lasermaterials (1) senkrecht zur Längsausdehnung des gepumpten Bereichs eben geschliffen und verspiegelt sind und somit als Endspiegel für einen Laserresonator dienen.
25. Festkörperlaser nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass externe also von dem Lasermaterial (1) getrennte Endspiegel (15) für die Bildung eines Laserresonators benutzt werden.
26. Festkörperlaser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die gepumpten Bereiche zickzackförmig zwischen Umlenkspiegeln angeordnet sind, so dass ein gefalteter Strahlengang entsteht.
27. Festkörperlaser nach einem der Ansprüche 1 bis 23 bzw. 26, dadurch gekennzeichnet, dass unter Vermeidung von Resonator-Endspiegeln die in dem Lasermaterial (1) aufgebaute

Inversion zum Verstärken eines von außen in die Platte eingekoppelten Laserstrahls benutzt wird.

28. Festkörperlaser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine oder mehrere Oberflächen des Lasermaterials (1) für mögliche Laserwellenlängen antireflektierend beschichtet sind.

29. Festkörperlaser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass einige der gegenüberliegenden Seitenflächen des Lasermaterials (1) leicht zueinander geneigt sind.

30. Festkörperlaser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine oder mehrere Seitenflächen des Lasermaterials aufgeraut sind.

31. Festkörperlaser nach Anspruch 2 oder nach einem der Ansprüche 4 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass die mit Hilfe der optischen Elemente (6) und die mit Hilfe der Reflektoren (7) bzw. (21) im Lasermaterial (1) erzeugten Abbilder der Pumpstrahlen nebeneinander liegen und dass der Pumpstrahl, nachdem er den zweiten Bereich durchstrahlt hat, mit Hilfe von Umlenkspiegeln wieder in den ersten zurückgelenkt wird und diesen nochmals durchstrahlt.

32. Festkörperlaser nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass der Pumpstrahl, nachdem er den zweiten Bereich durchstrahlt hat, durch Umlenkspiegel in einen dritten danebenliegenden Bereich und so fort gelenkt wird, und sodann von dem letzten durchstrahlten Bereich in umgekehrter Reihenfolge wieder durch die vorher durchstrahlten Bereiche gelenkt wird.

33. Festkörperlaser nach Anspruch 31 oder 32, dadurch gekennzeichnet, dass weitere Pumpstrahlen einige oder mehrere der von dem ersten Strahl gepumpten Bereiche in anderer Reihenfolge durchstrahlen.

34. Festkörperlaser nach Anspruch 31, 32 oder 33, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl mit Hilfe von Umlenkspiegeln nacheinander durch die gepumpten Bereiche gelenkt wird.

35. Festkörperlaser insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass das Lasermaterial (1) nur in Teilbereichen dotiert ist.

36. Festkörperlaser nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass das Lasermaterial eine Platte ist, die aus drei Schichten besteht, von denen nur die mittlere (25) dotiert ist, während die oberen und unteren Schichten (24) undotiert sind.

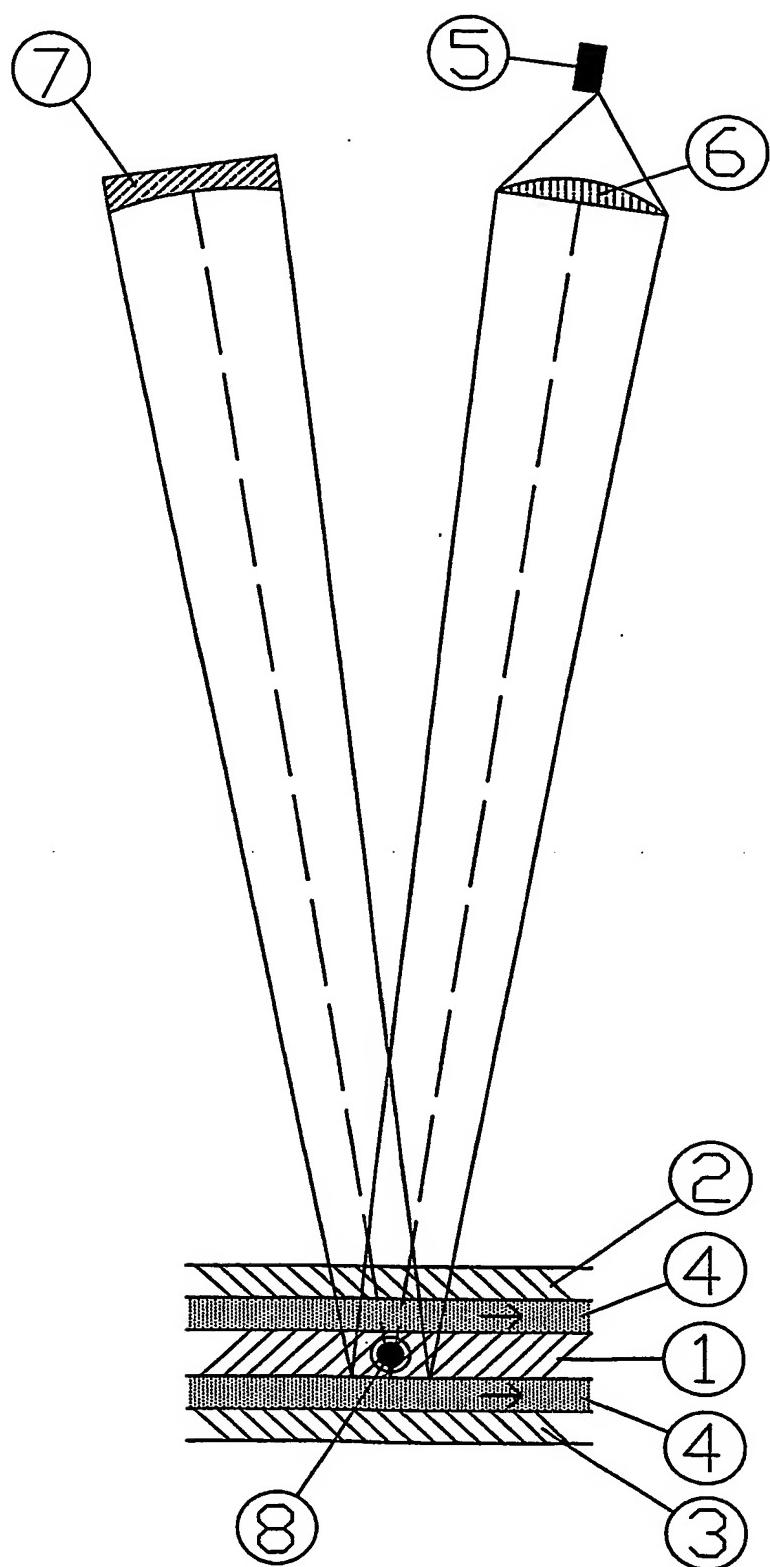


Fig. 1

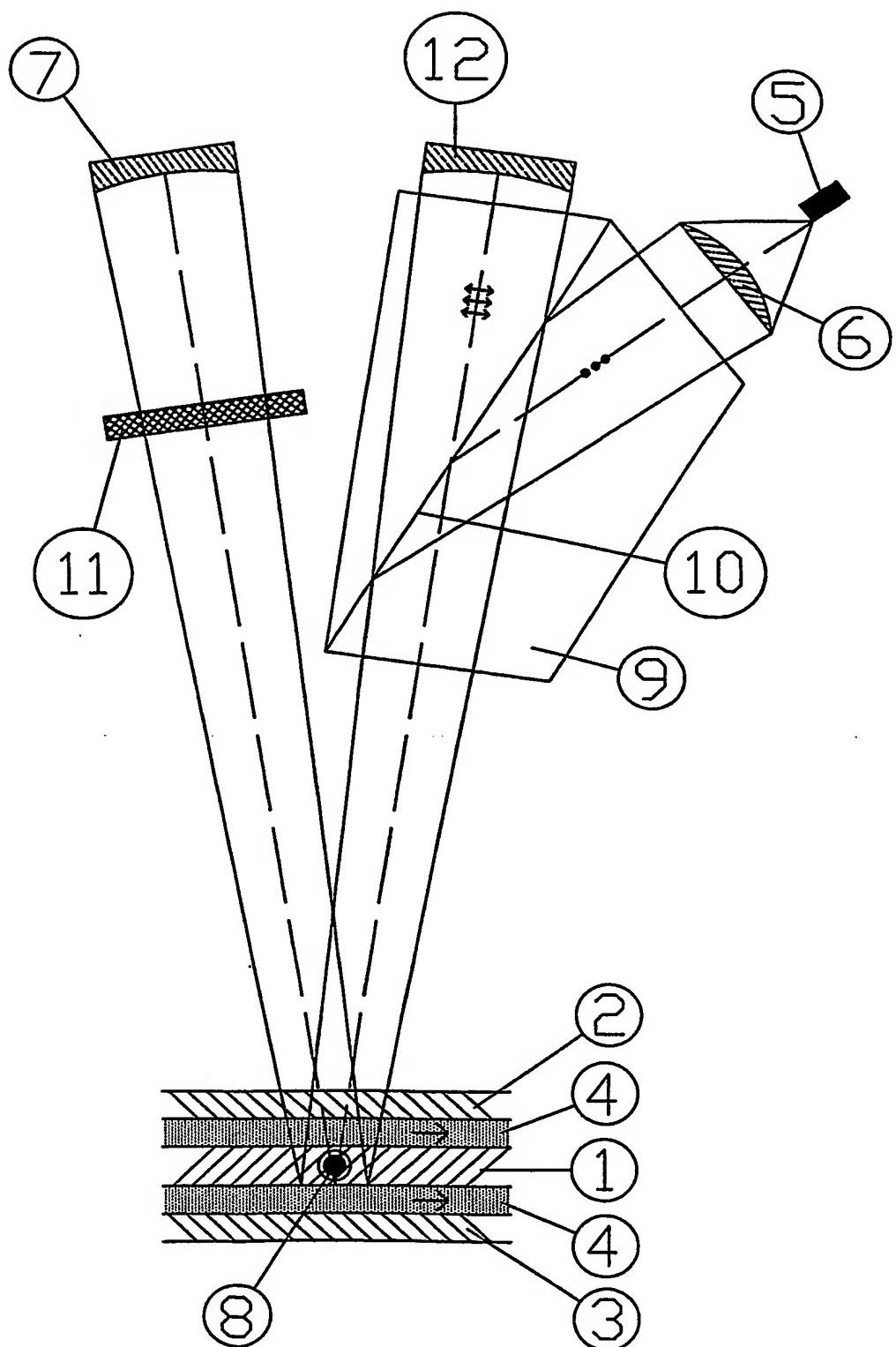


Fig. 2

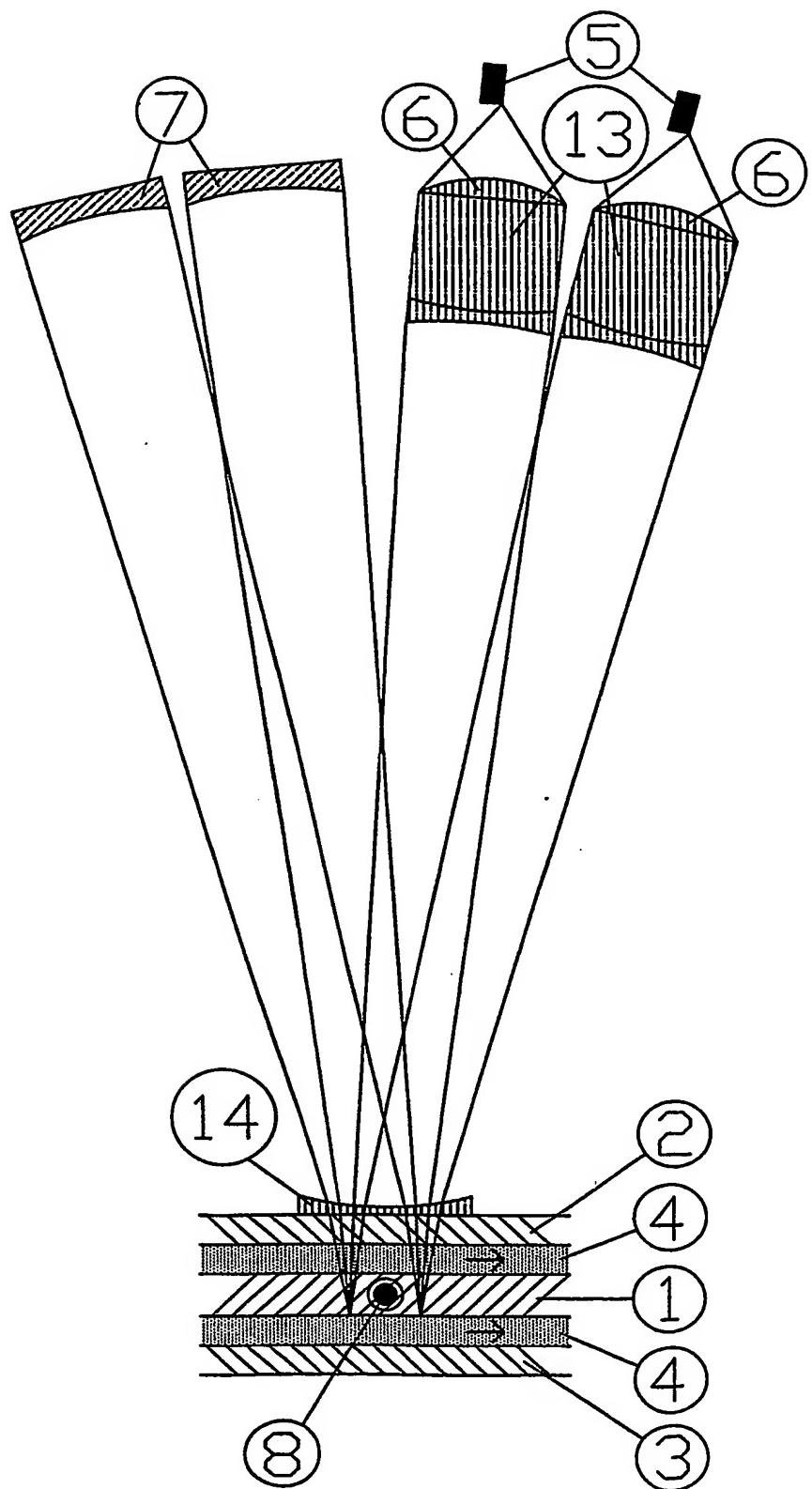


Fig. 3

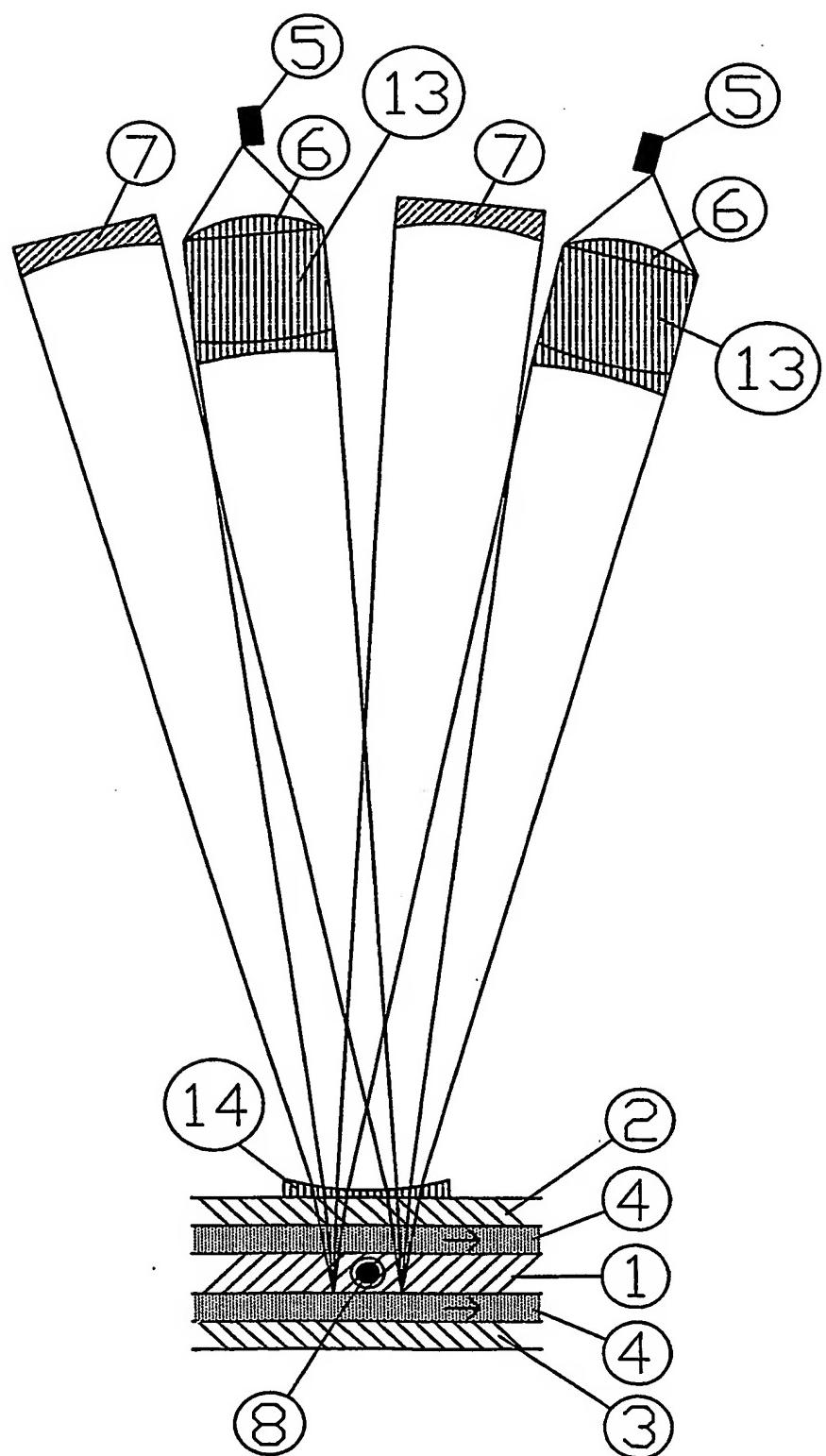


Fig. 4

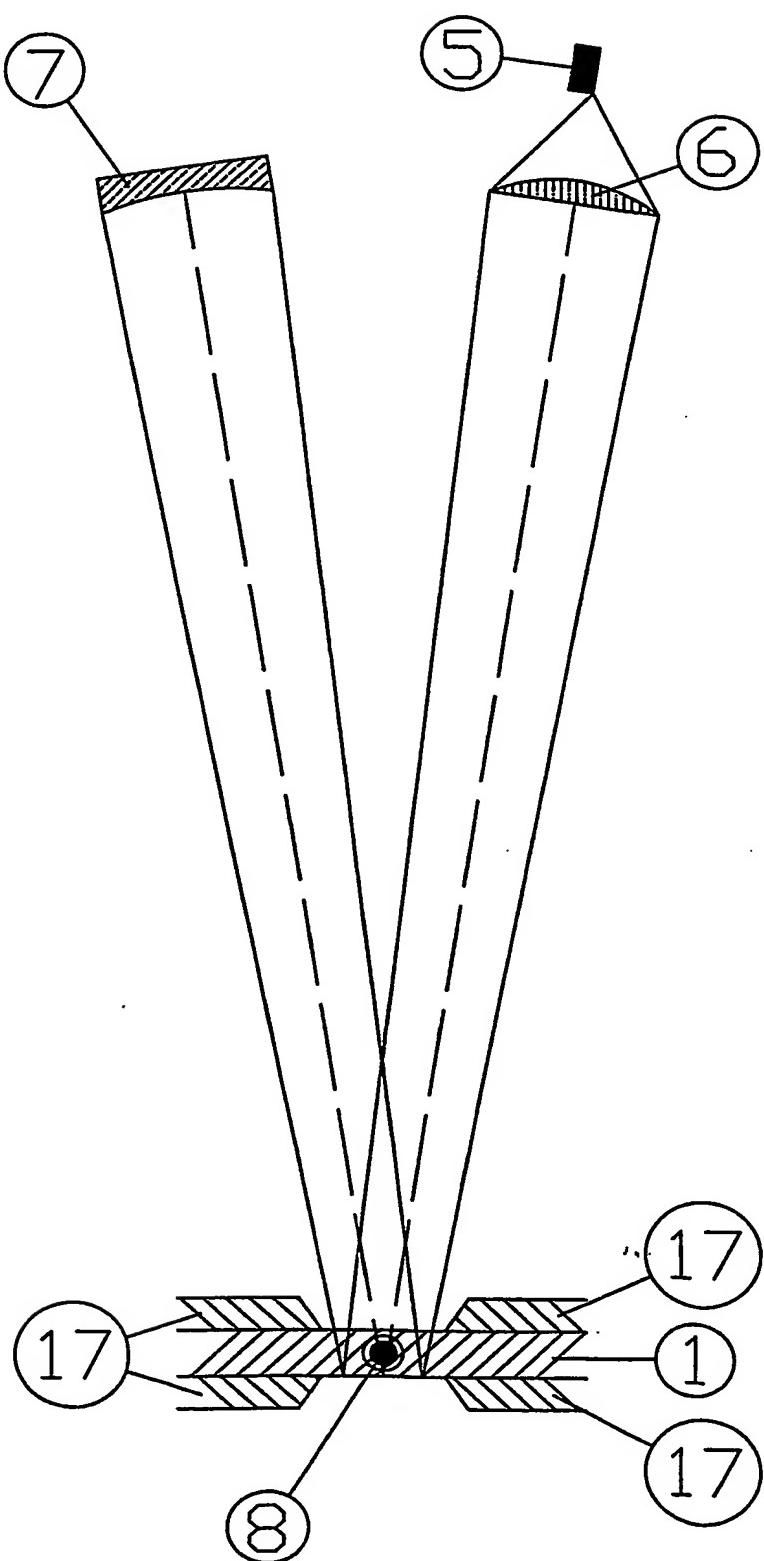


Fig. 5

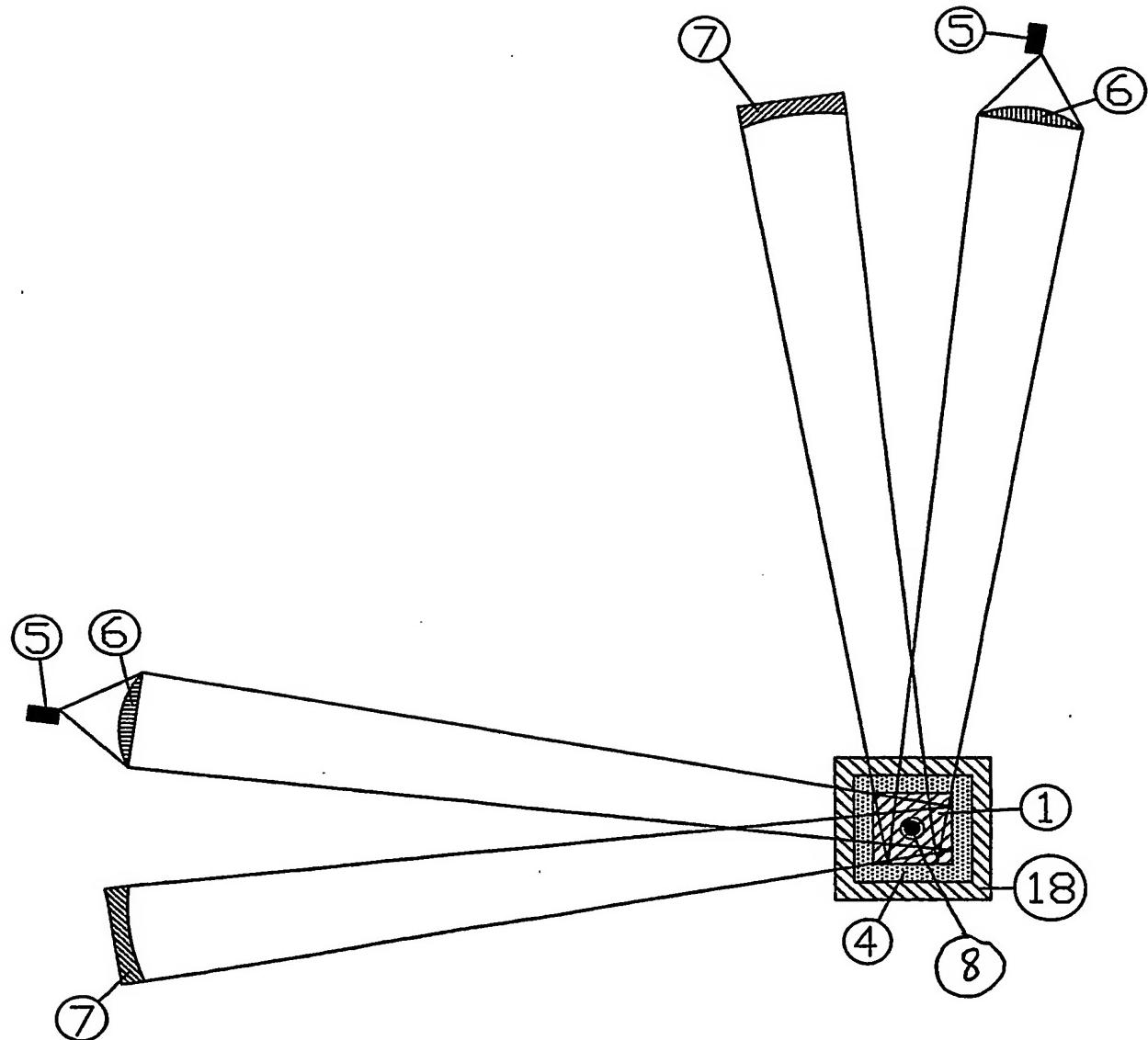
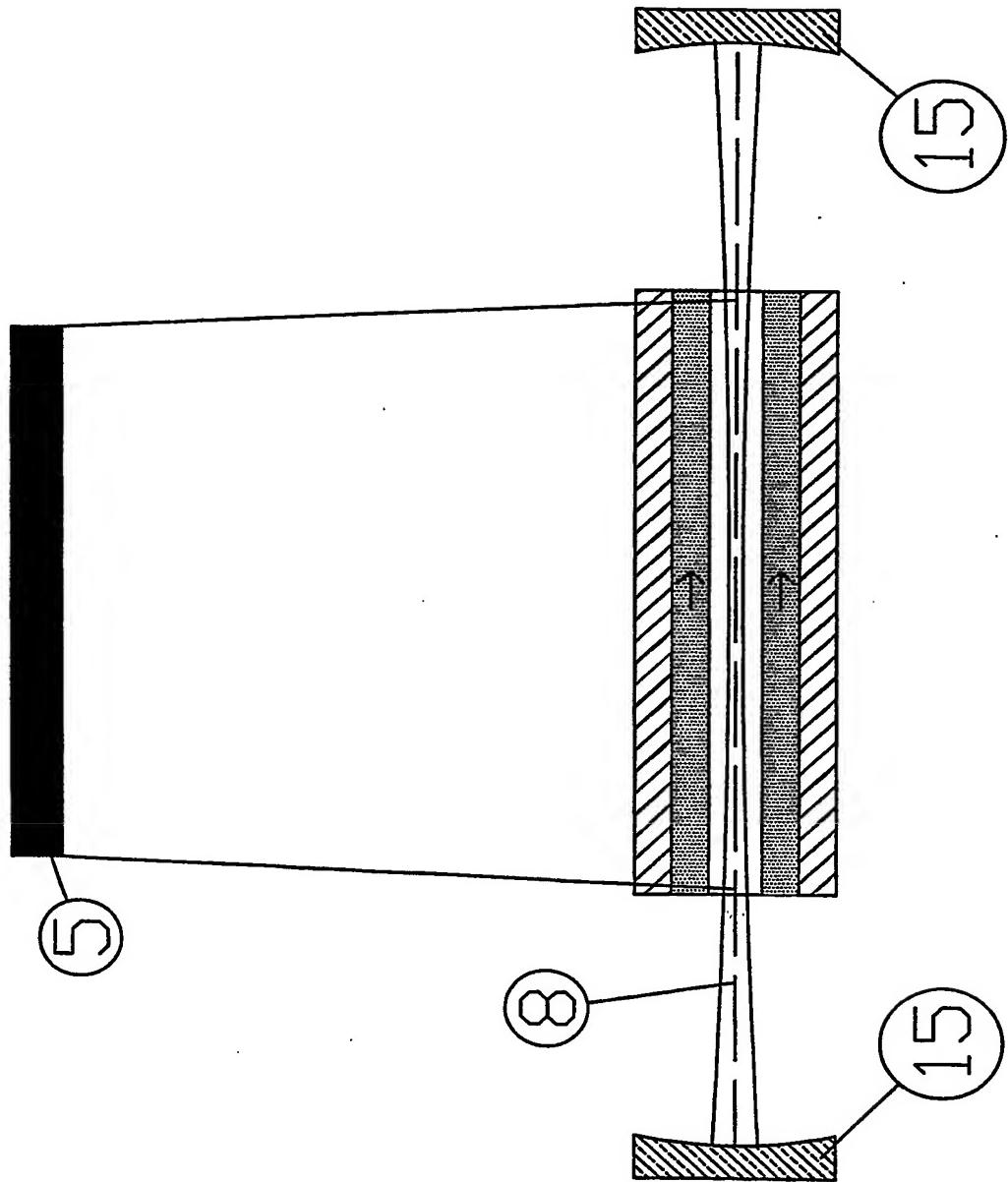
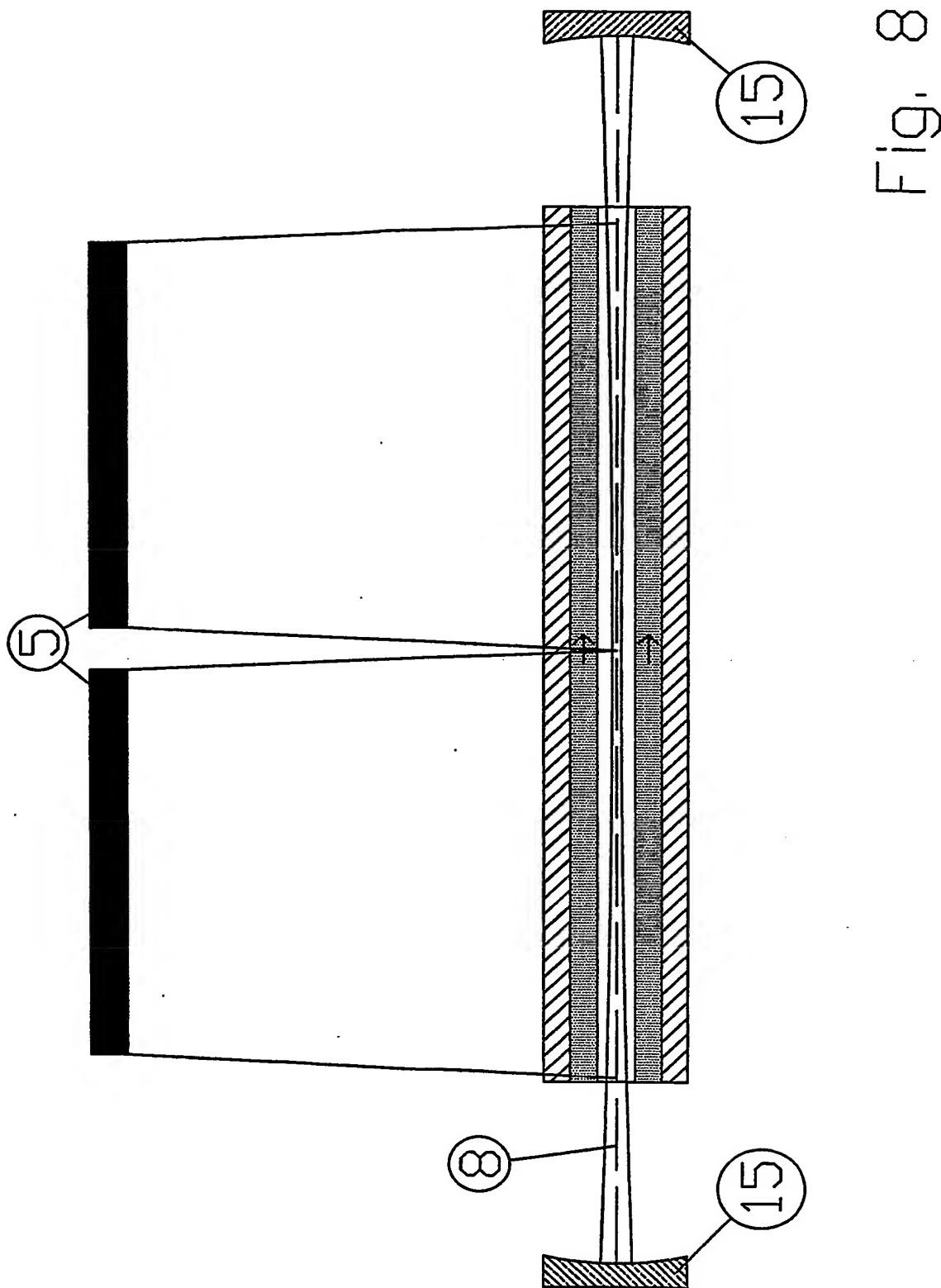
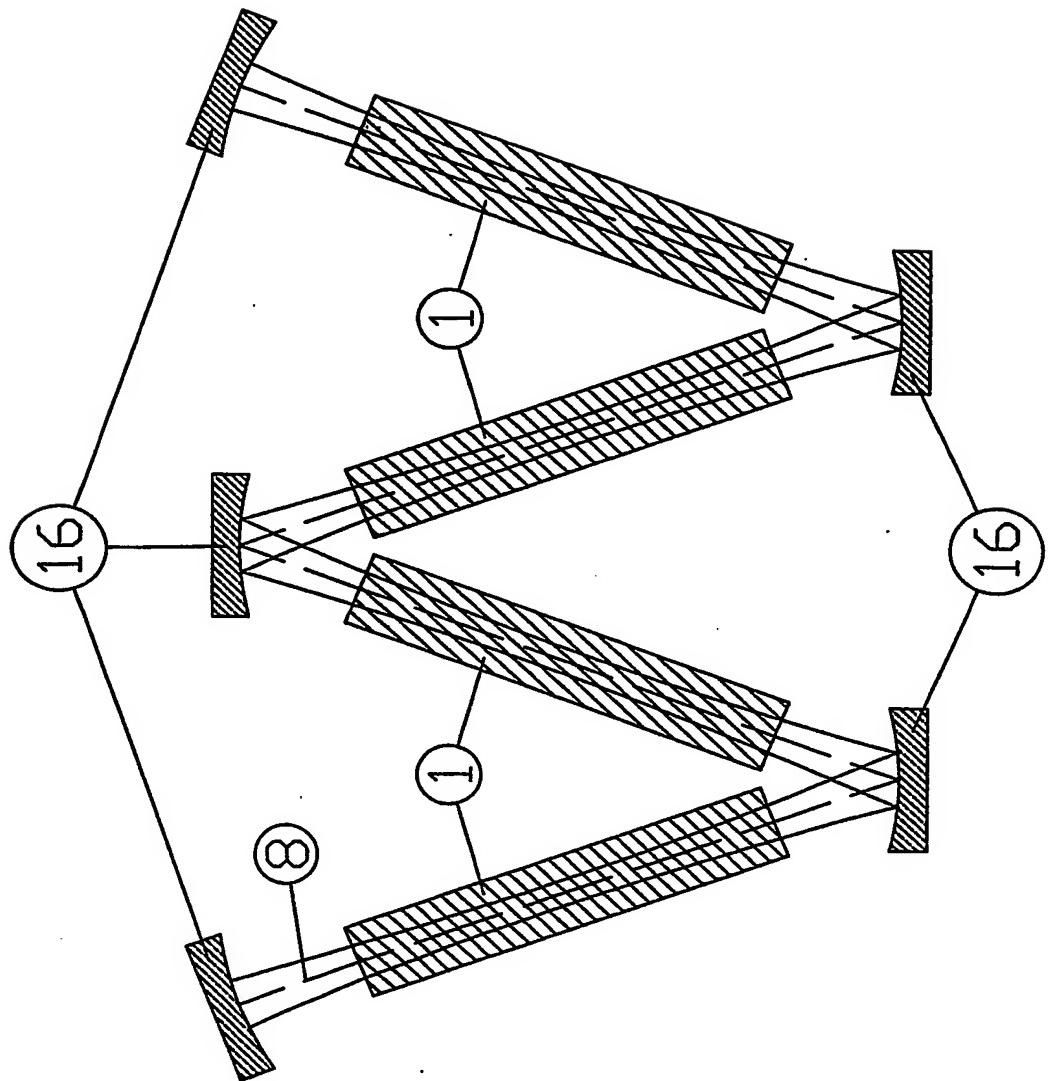


Fig. 6

FIG. 7





9
Fig.

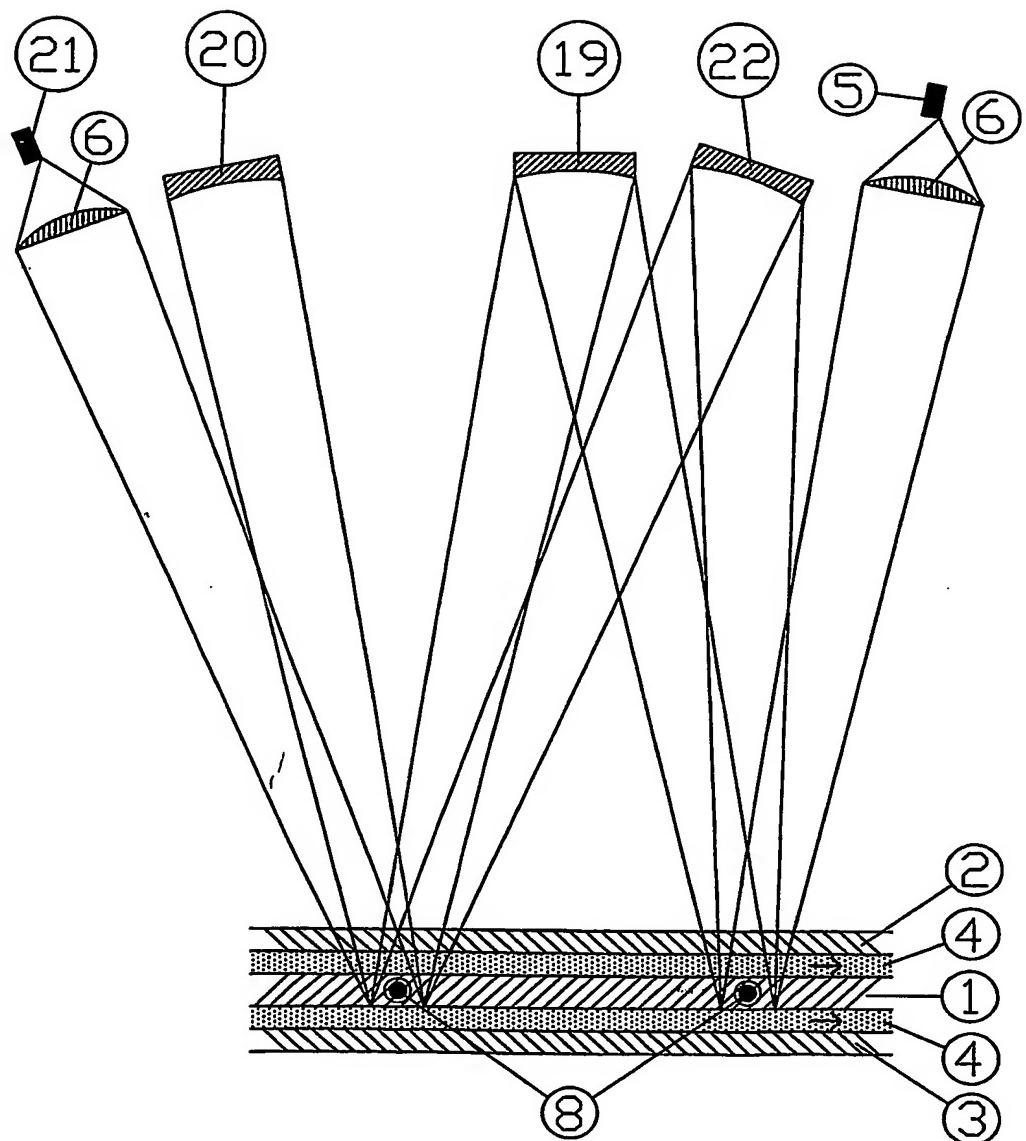


Fig. 10

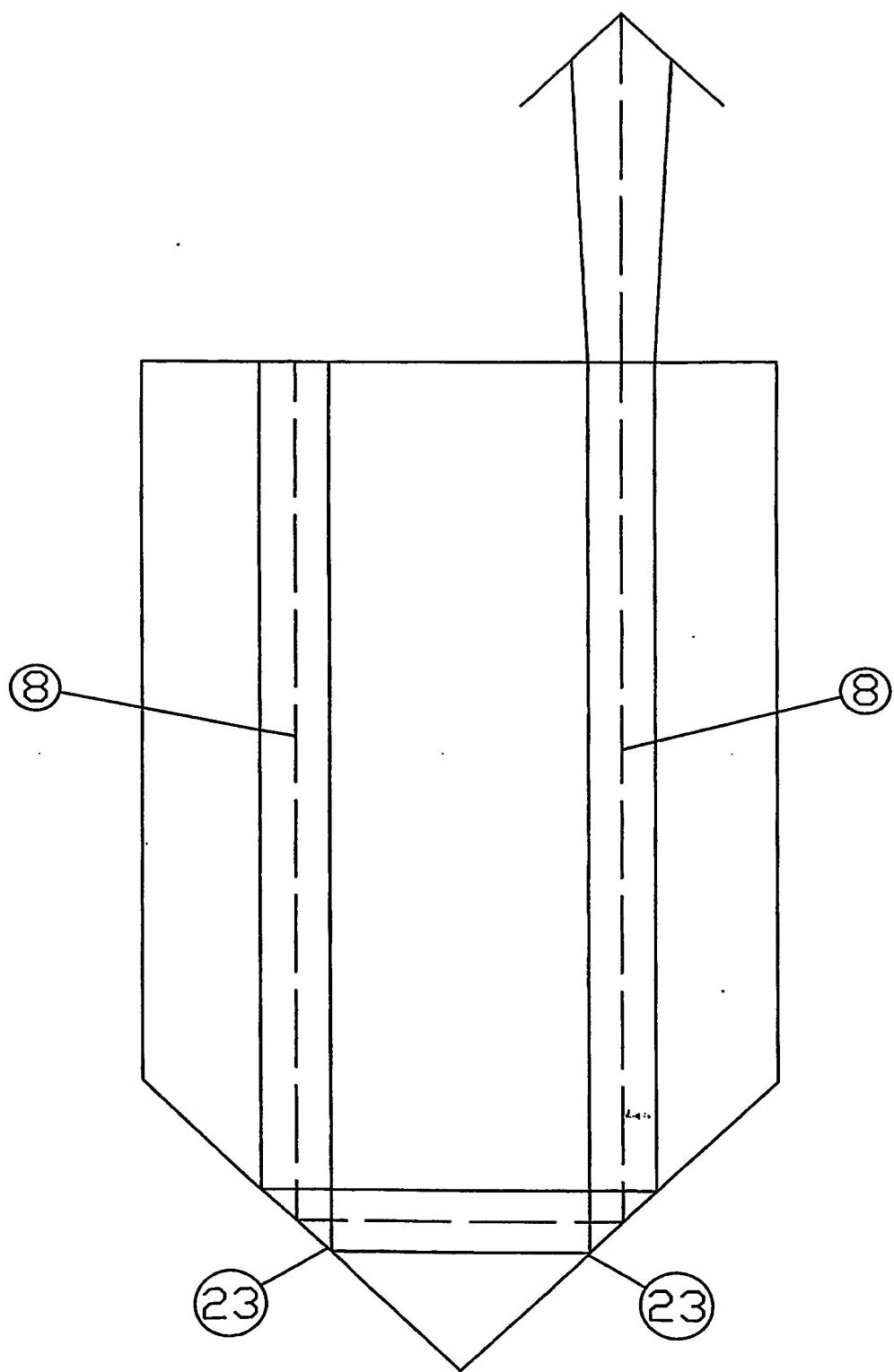


Fig. 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 03/02905

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01S3/0941

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 075 803 A (BULL DOUGLAS J ET AL) 13 June 2000 (2000-06-13)	1-3, 5-10, 12, 15-24, 27, 30 26, 31-34
Y	column 1, line 6-10; figures 2, 4 column 3, line 35-45 column 4, line 35-44 column 5, line 13-60 column 6, line 60 -column 7, line 18	
X	US 5 485 482 A (SELKER MARK D ET AL) 16 January 1996 (1996-01-16)	1, 4, 11, 13, 14, 25, 28, 29, 35, 36
	column 4, paragraph 3; figures 2, 8 column 4, line 47 -column 5, line 57 column 6, paragraph 2 column 7, paragraph 4	

	-/-	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the International filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 December 2003

Date of mailing of the international search report

29/12/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Laenen, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 03/02905

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 821 453 A (INST LASER TECHNOLOGY ;IZAWA YASUKAZU (JP); NAKAI SADAWO (JP); HAM) 28 January 1998 (1998-01-28) column 6 -column 9; figure 1 ----	8-10
A	US 6 167 069 A (BEACH RAYMOND J ET AL) 26 December 2000 (2000-12-26) column 3; figures 1,2 ----	17-20
Y	US 5 553 088 A (BRAUCH UWE ET AL) 3 September 1996 (1996-09-03) column 16, line 63 -column 17, line 31; figures 28,29 -----	26,31-34

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Internal Application No

PCT/DE 03/02905

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 6075803	A	13-06-2000	AU CA EP JP WO	4312199 A 2332864 A1 1090445 A1 2002517101 T 9962152 A1	13-12-1999 02-12-1999 11-04-2001 11-06-2002 02-12-1999
US 5485482	A	16-01-1996		NONE	
EP 0821453	A	28-01-1998	JP EP US	10041565 A 0821453 A2 5872804 A	13-02-1998 28-01-1998 16-02-1999
US 6167069	A	26-12-2000		NONE	
US 5553088	A	03-09-1996	DE DE EP EP EP	4344227 A1 59407111 D1 0632551 A1 0869591 A1 0869592 A1	19-01-1995 26-11-1998 04-01-1995 07-10-1998 07-10-1998

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationaler Aktenzeichen

PCT/DE 03/02905

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H01S3/0941

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H01S

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 075 803 A (BULL DOUGLAS J ET AL) 13. Juni 2000 (2000-06-13)	1-3, 5-10,12, 15-24, 27,30 26,31-34
Y	Spalte 1, Zeile 6-10; Abbildungen 2,4 Spalte 3, Zeile 35-45 Spalte 4, Zeile 35-44 Spalte 5, Zeile 13-60 Spalte 6, Zeile 60 -Spalte 7, Zeile 18 ---	
X	US 5 485 482 A (SELKER MARK D ET AL) 16. Januar 1996 (1996-01-16) Spalte 4, Absatz 3; Abbildungen 2,8 Spalte 4, Zeile 47 -Spalte 5, Zeile 57 Spalte 6, Absatz 2 Spalte 7, Absatz 4 ---	1,4,11, 13,14, 25,28, 29,35,36 -/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldeatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldeatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmeldeatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

16. Dezember 2003

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

29/12/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Laenen, R

INTERNATIONAL RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/02905

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
A	EP 0 821 453 A (INST LASER TECHNOLOGY ;IZAWA YASUKAZU (JP); NAKAI SADAWO (JP); HAM) 28. Januar 1998 (1998-01-28) Spalte 6 -Spalte 9; Abbildung 1 ----	8-10
A	US 6 167 069 A (BEACH RAYMOND J ET AL) 26. Dezember 2000 (2000-12-26) Spalte 3; Abbildungen 1,2 ----	17-20
Y	US 5 553 088 A (BRAUCH UWE ET AL) 3. September 1996 (1996-09-03) Spalte 16, Zeile 63 -Spalte 17, Zeile 31; Abbildungen 28,29 -----	26,31-34

INTERNATIONALES RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationaler Aktenzeichen

PCT/DE 03/02905

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6075803	A	13-06-2000	AU CA EP JP WO	4312199 A 2332864 A1 1090445 A1 2002517101 T 9962152 A1		13-12-1999 02-12-1999 11-04-2001 11-06-2002 02-12-1999
US 5485482	A	16-01-1996		KEINE		
EP 0821453	A	28-01-1998	JP EP US	10041565 A 0821453 A2 5872804 A		13-02-1998 28-01-1998 16-02-1999
US 6167069	A	26-12-2000		KEINE		
US 5553088	A	03-09-1996	DE DE EP EP EP	4344227 A1 59407111 D1 0632551 A1 0869591 A1 0869592 A1		19-01-1995 26-11-1998 04-01-1995 07-10-1998 07-10-1998